

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Noora Nieminen

BETOCRETE C36:N VAIKUTUS BETONIN LUJUUTEEN

Opinnäytetyö
Marraskuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Marraskuu 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
013 260 600

Tekijä(t)
Noora Nieminen

Nimeke
Betocrete C36:n vaikutus betonin lujuuteen

Toimeksiantaja
Pielisen Betoni Oy

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin betonin lisäaineen nimeltä Betocrete C36 vaikutusta betonin lujuuskehitykseen. Työ toteutettiin Pielisen Betoni Oy:n toimeksiannosta ja kyseistä ainetta käytettiin Joensuun toriparkin betonissa takaamassa rakenteelle vaadittu vesitiiviys. Betocrete C36-aineen jälleenmyyjä Suomessa on Semtu Oy.

Opinnäytetyössä käydään läpi betonin lujuusteoriaa, lujuuden kehitykseen vaikuttavia tekijöitä sekä betonin suhteituksen perusteita. Lisäksi esitellään tutkittava materiaali Betocrete C36 ja siitä tehty ennakkokoe. Tutkimus suoritettiin ottamalla puristuslujuuskoekappaleita kahdesta eri maksimiraekoon Betocreteä sisältävästä betonimassasta, ja vertaamalla tuloksia normaalin 18 mm:n maksimiraekoon vesitiiviin betonimassan antamiin puristuslujuustuloksiin. Tuloksia saatiin yhteensä 48 kappaletta, joista puolet oli seitsemän vuorokauden ja puolet 28 vuorokauden ikäisiä. 20 kappaletta otettiin 18 mm:n maksimiraekoon betonista ja loput 28 kappaletta 32 mm:n maksimiraekoon betonista. Lisäksi tutkittiin miten betonin vesi-sementtisuhte, sekoitusaika ja betonimassan lämpötila vaikuttivat saatuihin lujuustuloksiin.

Semtun aikaisemman tutkimuksen perusteella osattiin arvioida Betocrete C36:n aiheuttavan lujuuden laskua betonissa, jonka vuoksi asiaa haluttiin tutkia tarkemmin. Tässä tutkimuksessa havaittiin kyseisen lisäaineen laskevan ja / tai hidastavan betonin lujuuskehitystä 28 vuorokauden iässä 8 – 10 %, mikä on melko merkittävä lujuuden alenema. Onneksi kyseiseen tekijään oli ennakkoon varauduttu, ja Betocreteä sisältävien massojen sementtimäärä asetettiin riittävälle tasolle.

Kieli
suomi

Sivuja 24

Asiasanat

betoni, Betocrete, betonin lujuuden kehitys



THESIS
November 2017
Degree Programme in Construction Engineering
Tikkariinne 9
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
013 260 600

Author (s)
Noora Nieminen

Title
The Effect of Betocrete C36 on the Strength of Concrete

Commissioned by
Pielisen Betoni Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to investigate the effect of Betocrete C36 on the development of strength in concrete. This thesis was made for Pielisen Betoni concrete factory in Joensuu. Betocrete C36 is used in the concrete of building the parking place underneath Joensuu market place. Approximately 6000 cubic meters of concrete with Betocrete is going to be used. Betocrete is a compacting substance that makes concrete waterproof.

In this thesis the strenght development of concrete and general features of Betocrete are re-viewed. Two types of concrete including Betocrete were used. These were compared to typical waterproof concrete without Betocrete.

The work was made by separating test concrete cubes where the compressive strenght of concrete was determined. There were 24 results in this thesis: 12 results which were tested after 7 days and 12 results which were tested after 28 days of making the cubes.

As the result of this thesis it can be said that Betocrete makes the strength development of concrete slower and / or it makes concrete less tough. Because of that more cement has to be used in concrete.

Language

Finnish

Pages 24

Keywords

concrete, Betocrete, concrete strength development

Sisältö

1	Johdanto.....	5
2	Betonin lujuus ja lujuuskehitys	5
2.1	Betonin lujuus.....	5
2.2	Lujuuden mitoitus.....	6
2.3	Lujuuskehitykseen vaikuttavat tekijät	7
2.4	Lujuuden kehitys laskennallisesti	9
3	Betocrete	10
3.1	Ominaisuudet ja käyttökohteet	10
3.2	Ennakkotutkimus aiheesta	11
4	Tutkimuksen toteutus	12
4.1	Tutkimuksen lähtötiedot.....	12
4.2	Betonin suhteitus	13
4.3	Betonimassan valmistus.....	14
4.4	Koekappaleiden valmistus ja puristus	14
5	Tulokset	15
6	Tulosten tarkastelu.....	16
6.1	Maksimiraekoon 18 mm betonin tulosten tarkastelu	16
6.2	Maksimiraekoon 32 mm betonin tulosten tarkastelu	19
6.3	Saatujen tulosten vertailu normaalin vesitiiviin betonin tuloksiin.....	21
6.4	Saatujen tulosten vertailu aikaisempiin tutkimustuloksiin.....	22
6.5	Virhetarkastelu	23
7	Lopuksi.....	24
	Lähteet	5

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia betonin tiivistysaineen Betocrete C36 vaikutusta betonin lujuuskehitykseen. Tutkittavaa ainetta käytetään Joensuun toriparkissa, ja Betocreteä sisältävän betonin tarkoituksena on tehdä rakenteesta vesitiivis. Tutkimus toteutettiin Pielisen Betoni Oy:n valmisbetoniasemalla Joensuussa.

Tutkittava massa oli lujuusluokaltaan C30/37, sen tavoitelujuus oli 42 MPa ja tutkittavia betonimassoja oli kaksi. Toinen massa oli maksimiraekooltaan 18 mm ja toinen 32 mm. Vertailumassana lujuuskehitykselle käytettiin vesitiivistä C30/37 massaa, jonka maksimiraekoko oli 18 mm. Tutkimus suoritettiin ottamalla puristuslujuuskoekappaleita jokaisella valukerralla vähintään kaksi kappaletta ja vertailemalla sitten saatuja tuloksia normaalin vesitiiviin betonin puristuslujuustuloksiin. Lisäksi työssä tutkittiin, vaikuttavatko betonin vesi-sementtisuhde, sekoitusaika ja lämpötila saatuihin tuloksiin. Työn teoriaosuudessa kerrotaan betonin lujuuden kehityksestä ja käytetystä Betocrete-lisäaineesta sekä tutustutaan siitä tehtyyn ennakkokokokeeseen. Lisäksi työssä käsitellään työn toteutus betonimassan valmistuksesta koekappaleiden puristukseen.

2 Betonin lujuus ja lujuuskehitys

2.1 Betonin lujuus

Betonin tärkein ominaisuus on puristuslujuus. Betonin vetolujuus on noin 10 % puristuslujuudesta. (Suomen Betoniyhdistys. 2004, s.79) Puristuslujuuden mukaan määritetään betonin lujuusluokat. Betonin lujuusluokalla tarkoitetaan yleensä betonin vaadittua lujuutta 28 vuorokauden iässä. Betoninormeissa betonin puristuslujuuden määrittäminen perustuu kuutiolujuuteen, eli 150 mm x 150 mm x 150 mm:n kokoisten koekuutioiden puristuslujuuksiin. (Suomen Betoniyhdistys. 2011, s.106-107) Lujuutta voidaan mitata myös 100 mm x 100 mm x 100 mm:n kuutiolla ja halkaisijaltaan 150 mm:n ja korkeudeltaan 300 mm:n lieriöllä, jolloin tulokset on muutettava 150 mm x 150 mm x 150 mm kuution kanssa vertailtavaan muotoon. (Suomen Betoniyhdistys. 2004, s.79) Betonin lujuusluokka ilmoitetaan nykyisin SFS-EN 206-1-standardin mukaan merkinnällä, joka kertoo sekä alimman 150 x 300 lieriölle määrätyn ominaislujuuden että alimman 150 mm x 150 mm x 150 mm:n kuutiolle määrätyn ominaislujuuden. Esimerkiksi lujuusluokka C30/37, jossa 30 MPa on alin lieriön ominaislujuus ja 37 MPa on alin kuution

ominaislujuus. Taulukossa 1 on betoninormien ilmoittamat betonilujuusluokituksia vastaavat lujuudet eri koekappaleille. (Suomen Betoniyhdistys. 2016, s.36)

Taulukko 1. Betoninormien lujuusluokitusta vastaavat lujuudet eri koekappaleilla ilmoitettuna (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s. 36)

Lujuusluokka SFS-EN 206-1 mukaan	Alin 150x300 lieriöillä määrätty ominaislujuus $f_{ck,cyl}$ [MN/m ²]	Alin 150 mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus K [MN/m ²]	Alin 100mm:n kuutiolla määrätty ominaislujuus K [MN/m ²]
C12/15	12	15	15,5
C16/20	16	20	20,6
C20/25	20	25	25,8
C25/30	25	30	30,9
C30/37	30	37	38,1
C35/45	35	45	46,4
C40/50	40	50	51,5
C45/55	45	55	56,6
C50/60	50	60	61,8
C55/67	55	67	69,0
C60/75	60	75	72,2
C70/85	70	85	87,6
C80/95	80	95	97,8
C90/105	90	105	108,2

2.2 Lujuuden mitoitus

Halutun betonilujuuden saavuttaminen on aloitettava suhteituksesta. Betonin osat aineet yhteen sovitetaan suhteituksessa siten, että betonille saadaan halutut ominaisuudet. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.121) Usein aloitetaan hakemalla betonille halutut lujuusominaisuudet. Koska betonin lujuusarvot vaihtelevat raaka-aineiden ominaisuuksien vaihtelun ja betonitöiden suoritustason vaihtelun vuoksi, on betonin lujuuden mitoitusarvoksi asetettava sellainen lujuuden arvo, että koekappaleista suurin osa ylittää sen. Tämä toteutetaan hyödyntämällä tuotannon sisäisessä laadunvalvonnassa saatuja aikaisempia tuloksia betonin lujuusmittauksissa esimerkiksi betoniperheen sisällä. Mikäli massa on uudentyypistä, on tehtävä riittävästi ennakkokokeita keskilujuuden määrittämiseksi ennen varsinaista betonin valmistuksen aloittamista. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.126-127)

Betonille asetetaan tavoitelujuus, jossa huomioidaan aikaisempien puristuslujuustulosten hajonnan aiheuttamat muutokset lujuuteen. Tämä ennakoitetaan suhteituksessa kertoimella k_t . Vakiosuuruisena pysyvä betonin keskilujuus saavutetaan, kun noudatetaan

samaa kaavaa betonin valmistuksessa, raaka-aineissa, olosuhteissa ja työsuorituksissa. Näistä poikkeaminen aiheuttaa poikkeaman tavoitearvosta, jolloin tapahtuu lujuussiirtymää. Lujuussiirtymä huomioidaan omalla kertoimellaan k_s ennakkoon suhteutuksessa. Betonivalmistaja laskee kertoimien arvot oman laadunvalvonnan lujuustuloksien mukaan, jotta betonin lujuusvaihtelu materiaalien erilaisuuden ja valmistuksen osalta saadaan minimoitua. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.126-127)

2.3 Lujuuskehitykseen vaikuttavat tekijät

Betonin lujuuteen vaikuttavat siihen käytetyt osa- ja lisäaineet, niiden laadun ja ominaisuuksien vaihtelu, vesi-sementtisuhte, massan valmistus ja työstö sekä sitoutumis- ja kovettumisolosuhteet. Betonin jälkihoito on myös tärkeää betonin lujuuskehityksessä.

Sementti toimii betonin liimana muodostaen veden kanssa pastan, joka sitoo kiviainekset yhteen muodostaen yhtenäisen rakenteen. Sementin koostumus vaikuttaa betonin ominaisuuksiin ja oikealla sementin valinnalla voidaan säädellä betonin lujuutta, lämmönkehitystä ja kemiallista kestävyyttä. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.39) Betonin valmistuksessa käytetyn sementin tulee olla CE-merkittyä ja täyttää standardin SFS-EN 197-1 vaatimukset. (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.28) Sementit jaetaan standardilujuusluokkiin, jossa standardilujuus on sementin puristuslujuus 28 vuorokauden iässä. Lujuusluokkia on kolme ja ne ovat 32,5, 42,5 ja 52,5. Jokaisella lujuusluokalla on kaksi varhaislujuusluokkaa: N tarkoittaa normaalia varhaislujuutta ja R tarkoittaa korkeaa varhaislujuutta. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s. 42-44)

Sekoituttuaan veden kanssa sementti alkaa jonkin ajan kuluttua sitoutua. Sitoutumisvaiheen kesto riippuu sementin hienoudesta ja kemiallisesta koostumuksesta sekä betonimassan lämpötilasta. Sitoutumisvaiheessa olevaa betonia ei saa häiritä, sillä tällöin muodostuvat liimasauvat voivat rikkoutua ja aiheuttaa betonille lujuuskatoa. Standardin mukaan 52,5 lujuusluokan sementin sitoutumisajan alun on oltava vähintään 45 minuuttia, 42,5 lujuusluokan 60 minuuttia ja lujuusluokan 32,5 vähintään 75 minuuttia. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.51)

Lujuusreaktiot alkavat sitoutumisen päätyttyä, eli kun betoni alkaa kovettua. Hydrataatioreaktioon vaaditaan osallistumiskykyistä vettä, jonka vuoksi täydellistä hydratoitumista varten betonissa tulisi olla vettä noin 40-45 % sementin painosta. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.53) Tässä yhteydessä hydrataatiolla tarkoitetaan kemiallista reaktiota,

jossa vesi ja sementin mineraalit reagoivat keskenään muodostaen kovettuvan pastan. (Raivio, Virola. 2000. s.4) Veden pitää olla betonin valmistukseen sopivaa ja puhdasta, sillä epäpuhtaudet häiritsevät hydrataatiota tai estävät betonin kovettumisen. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.62) Käytettävän veden soveltuvuus on esitetty standardissa SFS-EN 1008. (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.29) Betonin lujuusreaktiot loppuvat, kun käytettävissä oleva vesi loppuu. Hydrataatioreaktiossa kehittyy lämpöä, joka lisää veden haihtumista betonista. Tämän vuoksi on tärkeää huolehtia, ettei betonista pääse haihtumaan liikaa kosteutta. Lisäksi tulee huolehtia, ettei liian varhaisella ja / tai korkealla lämpökäsittelyllä häiritä hydrataatiota. (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.75) Vesi-sementtisuhteen osalta on myös tärkeää huolehtia, ettei veden määrä kasva liian suureksi. Liika vesi lisää erottumisriskiä sekä vähentää sementtipartikkeleiden välille syntyvien liitosten määrää, koska sementtipartikkelit ovat kaukana toisistaan. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.73-74)

Lisäaineita käytettäessä on tehtävä riittävästi ennakkokokeita ja laadunvalvontaa. Esimerkiksi huokostinta käytettäessä betonin lujuus laskee. Tämä johtuu lisääntyneestä ilmamäärästä, jolla saadaan aikaiseksi betonin pakkasenkestävyys. Betonin normaali ilmamäärä on noin 2 %, joka tarkoittaa 20 litraa ilmaa per kuutiometri. Huokostetussa betonissa haluttu ilmamäärä on noin 5,5 %. Nyrkkisääntönä pidetään, että 1 % lisää ilmaa betonissa heikentää sen lujuutta 5 %. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.65) Sitä vastoin silikan käyttö parantaa betonin lujuutta, koska se hienojakoisena aineena täyttää tyhjää tilaa sementtirakeiden välistä ja parantaa tartuntaa runkoaineeseen. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.75) Toisaalta hienoaineksen määrä lisää betonin veden tarvetta. (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.131) Notkistinta käyttämällä betonin vesi-sementtisuhdetta voidaan pienentää, jolloin betonin lujuus paranee. Notkistinten avulla voidaan valmistaa korkealujuusbetoneita. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s. 67)

Betonin lujuuden kehitykselle tärkeimpiä tekijöitä on lämpötila. Lujuuskehitys nopeutuu lämpimissä ja hidastuu kylmissä olosuhteissa. Betonin lujuuskehitystä tapahtuu niin kauan, kun siinä oleva vesi ei jäädy. Suositeltava lujuuden kehittymislämpötila on +30 - +40 °C. Huoneenlämpöisenä betoni saavuttaa tavoitelujuutensa 28 vuorokauden iässä. (Kivimäki, Koskenvesa, Lahtinen, Lindberg, Palolahti, Sahlstedt. 2013. s.14-15)

Betonin lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa lämpökäsittelyllä. Betoni on lämpökäsittelyä, kun massa on lämpimämpää kuin +40 °C, kun betonin lämpötila nousee yli 25 celsiusastetta kovettumisvaiheen aikana tai kun kovettumisvaiheen aikana betonin lämpötila nousee yli +50 celsiusasteeseen. (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.75)

Lämpökäsittelyn vaikutus betoniin on varmistettava ennakkokokein, sillä lämpökäsittely aiheuttaa betonissa lujuuskatoa 0-30 %, pahimmillaan jopa 40 %. (Suomen Betoniyhdistys. 2004. s.357)

Jälkihoidolla huolehditaan pääasiassa betonin pinnasta, mutta myös betonin riittävästä kosteudesta ja lämpötilasta. Etenkin talvibetonoinnissa betonin lämpötilan seuranta ja valun suojaaminen sääoloilta on lujuuskehityksen kannalta hyvin tärkeää. Kesällä on tärkeää huomioida, ettei betonirakenteesta haihdu liikaa kosteutta. Rakenteen kosteudesta on hyvä huolehtia esimerkiksi jollain betonin jälkihoitoaineilla ja / tai riittävällä kastelulla.

2.4 Lujuuden kehitys laskennallisesti

Betonin lujuuden kehitystä voidaan arvioida laskemalla sen kypsyysikä. Tällöin tulee tuntea käytetyn sementin lujuuskehitys sekä betonin lämpötila. Kuvassa 1 on Betoninormit 2016 BY65:stä löytyvä lujuuskehityskäyrä nopeasti kovettuville betoneille, kun käytetään CEM I 52,5 N -sementtiä. Betonin lämpötilana on käytettävä matalinta lämpötilaa, jolloin betonin hydrataatioreaktio on hitaimmillaan. Kypsyysikä lasketaan Sadgroven menetelmällä (kaava 1.)

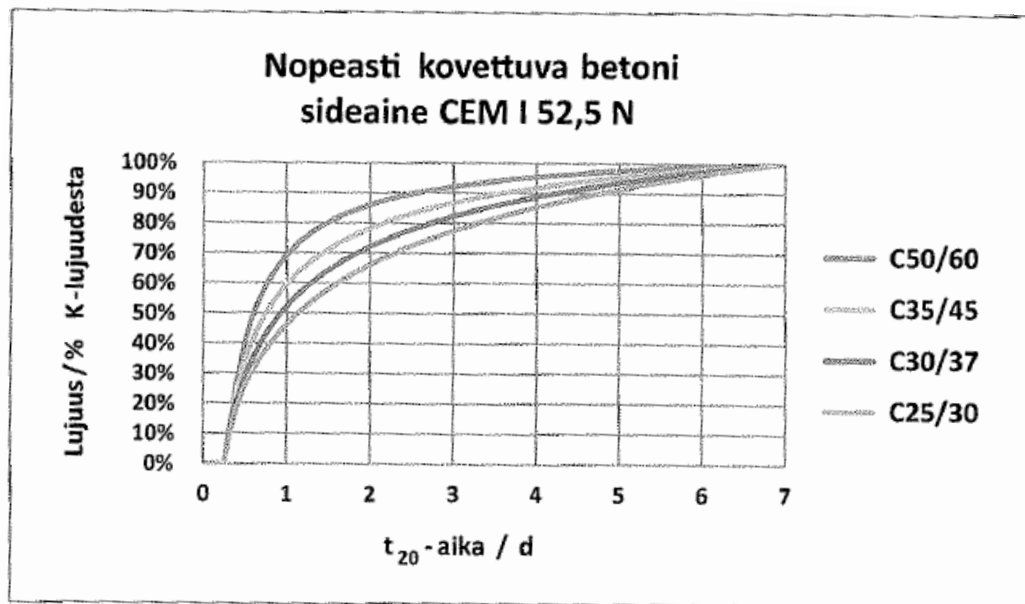
$$t_{20} = \left(\frac{T+16}{36} \right)^x t \quad (1)$$

missä

T = betonin lämpötila aikana t [°C]

t = kovettumisaika [d]

(Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.72)



Kuva 1. Eri betonilujuusluokkien lujuuskehityskuvaajat CEM I 52,5 N sementtiä käytettäessä. (Suomen Betoniyhdistys. 2016. s.75)

3 Betocrete

3.1 Ominaisuudet ja käyttökohteet

Betocrete on betonin lisäaine, jonka tarkoituksena on tiivistää vesitiiviitä betoneita sekä pinnoitteita estämällä veden imeytymistä. Sitä sanotaan myös betonin kristallisoitinaineeksi. Reagoidessaan veden kanssa Betocrete muodostaa kristallikiteitä betonin kapillaarijärjestelmään. Kristallikiteet muodostuvat, kun aineen komponentit reagoivat alumiini- ja kalsiumionien kanssa vettä saadessaan. Kiteiden muodostuminen tekee betonista vesitiiviin. Betocretestä muodostuu pysyvä osa betonimatriisia eikä sen poistaminen ole mahdollista. (Semtun Oy. 2015a; Semtu Oy. 2016. s.3) Betocreteä on useampaa eri tyyppiä ja sitä on mahdollista saada nestemäisenä sekä jauheena. Nestemäisellä Betocretellä ei ollut CE-merkintää toriparkin suunnitteluvaiheessa, joten päädyttiin käyttämään jauhemaista Betocreteä, jolla on CE-merkintä. CE-merkintä tuli pakolliseksi suurimmalle osalle rakennustuotteita vuonna 2013.

Tästä eteenpäin opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan CE-merkittyä Betocrete C36 -nimistä ainetta, ja termillä Betocrete tarkoitetaan nimenomaan tätä kyseistä tuotetta.

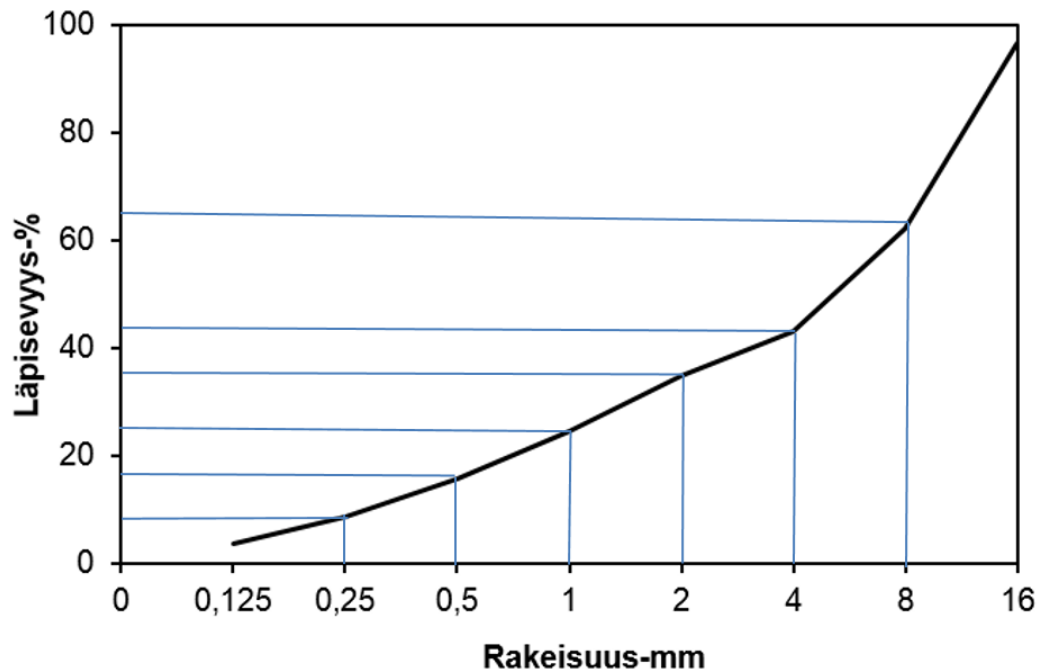
Betocrete on harmaata, olomuodoltaan jauhetta ja sen irtotiheys on $0,7 \text{ g/cm}^3$. Se sisältää portlandsementtiä 25-50 %, natriumkarbonaattia 25-50 %, kalsiumhydroksidia 2,5-10 %, kaliumnatriumtartraattia 2,5-10 % ja sinkkistearaattia 2,5-10 %. Jauhe on erittäin hienojakoista ja pölyävää. (Semtu Oy. 2015b) Jauheen käyttölämpötila on $> +5 \text{ }^\circ\text{C}$. Annosteluohje on betonireseptistä ja sementin reaktiivisuudesta riippuen 0,8 – 1,5 % sementin painosta. Betonireseptin osalta on huomioitava, että kiviaineskäyrän tulee olla jatkuva ja Betocreten tehokkuus voi rajoittua, jos käytetään pozzolaaneja tai seossementtejä. (Semtu Oy. 2015a.)

Betocrete on luokiteltu vaaralliseksi kemikaaliksi. Ainetta käsiteltäessä on noudatettava yleisiä rakennuskemikaalien käsittelyä koskevia varotoimenpiteitä. Se ärsyttää ihoa, vaurioittaa vakavasti silmiä ja saattaa aiheuttaa hengitysteiden ärsytystä. Se on syövyttävää. Sitä on käsiteltävä tiloissa, joissa on riittävä ilmanvaihto ja sitä käsiteltäessä on käytettävä henkilökohtaisia suojavarusteita. Ainetta ei saa päästää viemäriin, pinta- tai pohjavesiin eikä maaperään. (Semtu Oy. 2015b.)

Betocreten käyttötarkoituksena on tehdä betonista vettä läpäisemätöntä. Sitä käytetään betonirakenteissa, joilta vaaditaan ehdotonta vedenläpäisemättömyyttä. Tällaisia ovat mm. juoma- ja jätevesialtaat, tukimuurit, tunnelit, hissikuilut, pysäköintihallit ja tukiseinät. (Semtu Oy. 2015a.)

3.2 Ennakkotutkimus aiheesta

Semtun betonilaboratoriossa huhtikuussa 2017 tekemässä tutkimuksessa oltiin tutkittu Betocreten toimintaa. Tutkimuksessa betonimassassa oli ollut sementtiä 400 kg/m^3 , ja puolet sementistä oli ollut CEM I 52,5 N:ää ja puolet CEM I 42,5 N:ää. Massan vesi-sementtisuhde oli ollut 0,5 ja notkistinta käytettiin 0,7 % sementin painosta. Betocreteä oltiin käytetty 1 % sementin painosta. Käytetyn massan runkoaineen rakeisuus oli ollut kuvan 2 mukainen. Massa oltiin tehty sekoittamalla ensin runkoainesta, sementtiä ja Betocreteä keskenään 60 sekunnin ajan. Tämän jälkeen oltiin lisätty vesi ja sekoitettu 60 sekuntia. Näiden sekoituksen jälkeen oltiin lisätty notkistin, ja massaa oli sekoitettu vielä 120 sekuntia. Massa oli tehty myös ilman Betocreteä, jotta oltiin saatu vertailukappaleet Betocreteä sisältävän massan kappaleille. Molemmista massoista oltiin otettu kaksi koekappaletta, 1 d ja 28 d, jotka olivat olleet kooltaan $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$.



Kuva 2. Semtun tutkimuksessa käytetyn runkoaineen rakeisuuskäyrä.

Tulokseksi testauksessa saatiin, että Betocrete laski betonin alkulujuutta noin 10 % ja loppulujuutta noin 14 %. Lisäksi Betocreten käyttö lisäsi massaansa ilmaa noin 1 %. (Semtu Oy. 2017.)

4 Tutkimuksen toteutus

4.1 Tutkimuksen lähtötiedot

Tutkimus toteutettiin Pielisen Betoni Oy:n valmisbetoniasemalla Joensuussa. Tarve Betocreten käyttöön tuli tilaajan tarpeesta varmistaa Joensuun toriparkissa käytettävien betonirakenteiden vesitiiviys. Syyskuussa 2017 arvioitiin toriparkkiin menevän noin 6 000 m³ Betocreteä sisältävää betonia, joten tutkimus on melko merkittävä. Koekappaleita otettiin jokaisesta valuerästä vähintään kaksi – yksi seitsemän vuorokauden iässä puristettava ja yksi 28 vuorokauden iässä puristettava. Valukertoja arvioitiin olevan 60 ja massamääriltään valut vaihtelivat 15-170 m³. Betocreteä sisältämän betonin valmistusaika oli pidempi kuin normaalin betonin, sillä sen tasainen sekoittuminen massaansa piti varmistaa sekoittamalla se kiviainekseen hyvin ennen sementin ja veden lisäystä.

Betonimassoja käytettiin kahta eri koostumusta. Pohjalaatassa käytettiin suurimmalta osin massaa, jonka maksimiraekoko oli 32 mm ja seinämassana käytetään pelkästään maksimiraekoon 18 mm massaa. Massan lujuusluokka oli C30/37, jonka tavoitelujuus oli 42 MPa 28 vuorokauden ikäisenä.

4.2 Betonin suhteitus

Betonimassan suhteitus tehtiin hyödyntämällä aiempaa Semtun tekemää ennakkokoetta sekä betoniperheestä saatuja lujuuden ennakkotuloksia. Reseptipohjana käytettiin vesitiiviin C30/37:n reseptiä, jonka tavoitelujuus oli 42 MPa. Aikaisempien tulosten perusteella vesitiivis C30/37 oli saavuttanut seitsemän päivän ikäisenä 38,9 MPa:n lujuuden ja 28 vuorokauden ikäisenä 46,7 MPa:n lujuuden. Lujuuskehitystä oli tällöin ollut 7,8 MPa.

18 mm:n maksimiraekoon massan sementtimääräksi saatiin 390 kg/m^3 , vesimääräksi 195 kg/m^3 , runkoainemääräksi 1835 kg/m^3 ja notkistinmääräksi $2,1 \text{ kg/m}^3$. Betocreteä käytettiin $4 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$ betonia. Kiviaines koostui 0-8 mm, 8-10 mm, 10-22 mm kiviaineksista sekä filleristä. Sementtiosuudet massassa olivat aluksi puolet ja puolet ja syyskuun alussa tehdyn muutoksen jälkeen 42,5 N-sementtiä oli 37 % ja 52,5 N-sementtiä 63 %.

32 mm:n maksimiraekoon massan sementtimääräksi saatiin 370 kg/m^3 , vesimääräksi 180 kg/m^3 , runkoainemääräksi 1875 kg/m^3 ja notkistinmääräksi $2,2 \text{ kg/m}^3$. Betocreteä käytettiin $4 \text{ kg} / 1 \text{ m}^3$ betonia. Kiviaines koostui 0-8 mm, 10-22 mm, 22- 35 mm kiviaineksista sekä filleristä. Sementtiosuudet massassa olivat aluksi puolet ja puolet ja elokuun alussa tehdyn muutoksen jälkeen 42,5 N sementtiä oli 37 % ja 52,5 N sementtiä 63 %.

Vertailumassana käytetyssä vesitiiviissä C30/37 18 mm:n maksimiraekoon massassa sementtimäärä oli 390 kg/m^3 , vesimäärä 195 kg/m^3 , runkoainemäärä 1810 kg/m^3 ja notkistin määrä $1,6 \text{ kg/m}^3$. Notkistimena käytettiin ELE-notkistinta, joka on nopeampi reagoimaan kuin Betocreteä sisältävissä massoissa käytetty MC-notkistin. Runkoaine koostui 0-8 mm sorasta, 8-10 mm ja 10-22 mm kivistä sekä filleristä. Sementin osalta vesitiiviissä massassa oli erona, että 42,5 N sementtiä oli 60 % ja 52,5 N sementtiä 40 %.

4.3 Betonimassan valmistus

Betonimassa valmistettiin laattarakenteita valettaessa 3,5 m³ annoskokona ja seinärakenteita valettaessa 2,5 m³ annoskokona. Annoskoot oli määritetty Betocreten annostelun helpottamiseksi. Betocrete annosteltiin sulaviin säkkeihin punnittuina. Sen annostelumäärä oli 4 kg / 1 m³ betonia, eli 3,5 m³ annokseen sitä tuli 14 kg ja 2,5 m³ annokseen 10 kg.

Betoni valmistettiin betonisekottimessa, jossa maksimissaan oli mahdollista valmistaa 3,5 m³ annos. Betocrete lisättiin säkkeinä myllyyn välittömästi kiviaineen annostelun jälkeen ja annettiin sekoittua 30 sekuntia. Tämän jälkeen myllyyn lisättiin sementti, tästä 15 sekunnin kuluttua vesi ja tästä 10 sekunnin kuluttua lisäaine. Lisäaineena käytettiin MC -notkistinta. Massaa sekoitettiin 70 sekuntia. Viimeinen sekoitusaika alkoi, kun lisäaineventtiili sulkeutui ja kaikki betonin raaka-aineet olivat myllyssä.

4.4 Koekappaleiden valmistus ja puristus

Puristuslujuuden testausta varten otettiin koekappaleet ensimmäisen kuorman ensimmäisestä tai toisesta annoksesta. Koekappaleita otettiin kaksi: 7d ja 28d kappaleet. Mylly pysäytettiin sekoitusajan täytyttyä, jonka jälkeen betonimassaa lapioitiin ämpäriin noin 8 litraa. Puristuslujuuskappaleiden tekemiseen käytettiin kalibroituja 150 mm x 150 mm x 150 mm muotteja. Muottien pohjareiät teipattiin huolellisesti ja muotit öljyttiin. Muotit täytettiin kolmessa osassa. Ensin molempiin muotteihin mitattiin noin kolmasosa muotin tilavuudesta betonia, jonka jälkeen betonista poistettiin ylimääräinen ilma tärypöydällä täryttämällä, kunnes ilmakuplien pintaan nousu väheni huomattavasti. Tämän jälkeen betonia lisättiin taas molempiin muotteihin kolmannes lisää ja ne tärytettiin jälleen huolellisesti. Tärytyksen jälkeen muotit laitettiin täyteen ja tärytettiin vielä kertaalleen uudelleen. Tämän jälkeen koekappaleet nostettiin suojaan kuivumaan ja niiden pinnat tasoitettiin ja liipattiin. Kappaleiden annettiin kovettua vuorokauden, jonka jälkeen ne poistettiin paineilman avulla muoteista, merkittiin ja nostettiin vesialtaaseen. Vesialtaassa veden lämpötila oli +20 °C, mikä takasi betonille suotuisan ja tasaisen lujuudenkehitysympäristön.

Koekappaleet nostettiin vedestä puristuspäivän aamuna ja ne jätettiin kuivumaan. Kappaleiden kuivuttua puristuspinnot hiottiin, jotta kappaleen kuormitus oli tasainen ei-

kä syntynyt harhaanjohtavia pistekuormia. Hionnan jälkeen kappaleet puristettiin vuositain kalibroidulla Form-Test:n valmistamalla betonintestauskoneella, ja saadut tulokset merkittiin ylös yrityksen laadunvalvontajärjestelmään.

5 Tulokset

Koekappaleita otettiin tutkimusajankohtana 48 kappaletta 24 massa-annoksesta. 20 kappaletta otettiin 18 mm maksimiraekoon massasta ja 28 kappaletta maksimiraekoon 32 mm massasta. Puolet kappaleista puristettiin seitsemän vuorokauden ikäisinä ja puolet 28 vuorokauden ikäisinä. Tulokset ovat nähtävillä taulukoissa 2 ja 3.

Taulukko 2. C30/37 maksimiraekoko 18 mm puristuslujuustulokset, massat, lujuuden nousu seitsemän ja 28 vuorokauden välillä, sekoitusajat ja vesi-sementtisuhde sekä tulosten keskiarvot ja keskihajonnat. Tavoitelujuus 42 MPa 28 vuorokauden ikäisenä.

Koekappale	valm. pvm	lujuus 7d (MPa)	massa (g)	lujuus 28d (MPa)	massa (g)	lujuudenkehitys (MPa)	sekoitus-aika (s)	v/s
736	22.5.	39	7909	43,4	7909	4,4	73,8	0,495
743	31.5.	36,6	7925	43,2	7927	6,6	76,84	0,502
747	5.6.	42,8	7981	45,3	7953	2,5	138,92	0,493
758	22.6.	36,6	8042	41,8	8045	5,2	96,16	0,505
763	28.6.	36,7	7865	43,1	7975	6,4	118,44	0,501
764	3.7.	34,3	7875	39,8	7880	5,5	113,32	0,486
769	10.9.	36,2	7850	41,6	7900	5,4	71,48	0,504
823	12.9.	37,8	7995	44,3	7950	6,5	93,12	0,503
828	19.9.	39,3	8035	45,8	7995	6,5	127,28	0,490
838	28.9.	35,8	8030	42,7	8000	6,9	203,19	0,501
keskihajonta		2,4	74,7	1,8	51,3	1,3	39,8	0,006
keskiarvo		37,5	7950,7	43,1	7953,4	5,6	111,3	0,498

Taulukko 3. C30/37 maksimiraekoko 32 mm kappaletunnukset, valmistuspäivämäärät, puristuslujuustulokset, massat, lujuuden nousu seitsemän ja 28 vuorokauden välillä, sekoitusajat ja vesi-sementtisuhte sekä tulosten keskiarvot ja keskihajonnat. Tavoitelujuus 42 MPa 28 vuorokauden ikäisenä.

Koekappale	valm. pvm	lujuus 7d (MPa)	massa (g)	lujuus 28d (MPa)	massa (g)	lujuuden kehitys (MPa)	sekoitusai- ka (s)	v/s
744	31.5.	37,7	7892	43	7920	5,3	96,84	0,501
754	15.6.	34,5	7895	43,3	7990	8,8	119,8	0,515
765	3.7.	36	7970	40,1	7990	4,1	73,4	0,517
773	13.7.	35	7905	39	8005	4	93,04	0,512
777	19.7.	36,3	8000	42,5	8040	6,2	78,64	0,513
779	24.7.	36,6	8040	41,4	8040	4,8	87,68	0,514
786	4.8.	34,3	8000	38	7975	3,7	86,8	0,511
792	11.8.	35	8040	42,8	8010	7,8	89,48	0,513
797	17.8.	38,1	8115	45,5	8165	7,4	90,52	0,503
811	1.9.	34,9	8065	41,4	8155	6,5	88,32	0,501
818	6.9.	37,6	8055	44	8075	6,4	106,6	0,503
819	8.9.	34,4	8120	41,3	8085	6,9	85	0,491
824	13.9.	36,9	8110	42,6	8195	5,7	64,32	0,495
832	21.9.	36,3	8010	43,3	8065	7	111,72	0,491
keskihajonta		1,3	78,2	2,0	78,9	1,5	14,6	0,009
keskiarvo		36,0	8015,5	42,0	8050,7	6,0	90,9	0,506

6 Tulosten tarkastelu

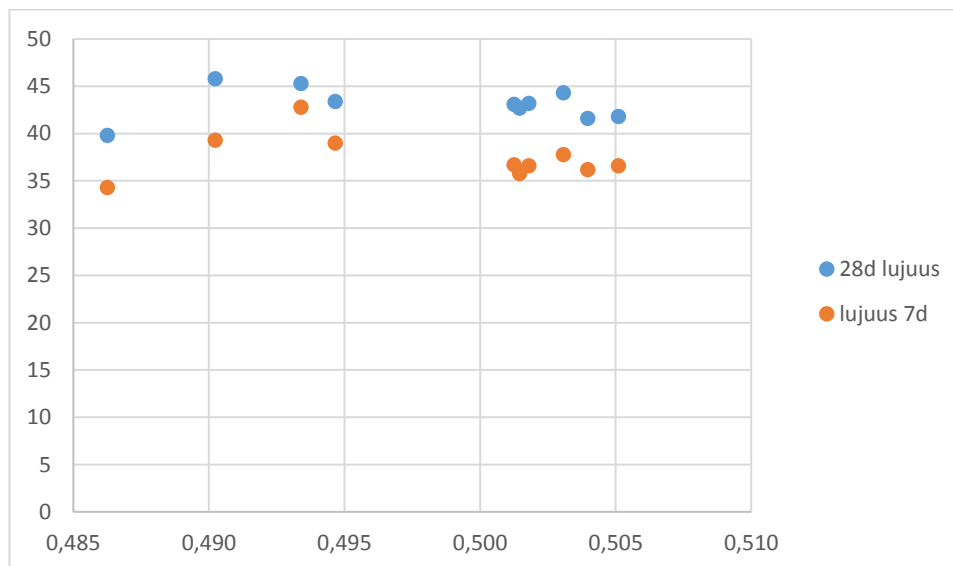
6.1 Maksimiraekoon 18 mm betonin tulosten tarkastelu

Tuloksia saatiin 20 kappaletta puolet seitsemän vuorokauden ikäisiä ja puolet 28 vuorokauden ikäisiä. Koekappaleiden puristuslujuuden keskiarvo seitsemän vuorokauden iässä oli 37,5 MPa, mutta keskiarvoa nostivat neljä kappaletta, joiden lujuus ylitti nimellisuuden 37 MPa. Loput kuusi kappaletta jäivät alle nimellisuuden. Kappaleiden keskihajonta oli 2,4 MPa, joka on suurin keskihajonta kaikilla saaduilla tuloksilla. Kuitenkin kuusi kappaleista oli 2 MPa:n sisällä toisistaan.

28 vuorokauden iässä koekappaleiden lujuudet olivat 39,8–45,8 MPa. Koekappaleiden lujuuden keskiarvo oli 43,1 MPa ja keskihajonta 1,8 MPa. Tulokset olivat todella tasaisia, sillä seitsemän kappaletta ylitti tavoitelujuuden 42 MPa ja yhtä kappaletta lukuun ottamatta kaikki kappaleet ylittivät 40 MPa:n lujuuden. Ainoa kappale, joka ei ylittänyt 40 MPa:n lujuutta, nousi 39,8 MPa:n lujuuteen, joten sekään ei juuri eronnut muista tuloksista.

Kappaleiden lujuuskehitys oli tasainen seitsemän ja 28 vuorokauden välillä. Seitsemän kappaleen lujuuskehitys oli 5,2–6,9 MPa. Yhden kappaleen lujuuskehitys jäi poikkeuksellisen heikoksi ollen 2,5 MPa. Kyseisen kappaleen alkulujuus oli yllättävän suuri, 42,8 MPa, joten pieni lujuuskehitys 28 vuorokauden ikään tultaessa voinee selittyä suurella alkulujuudella.

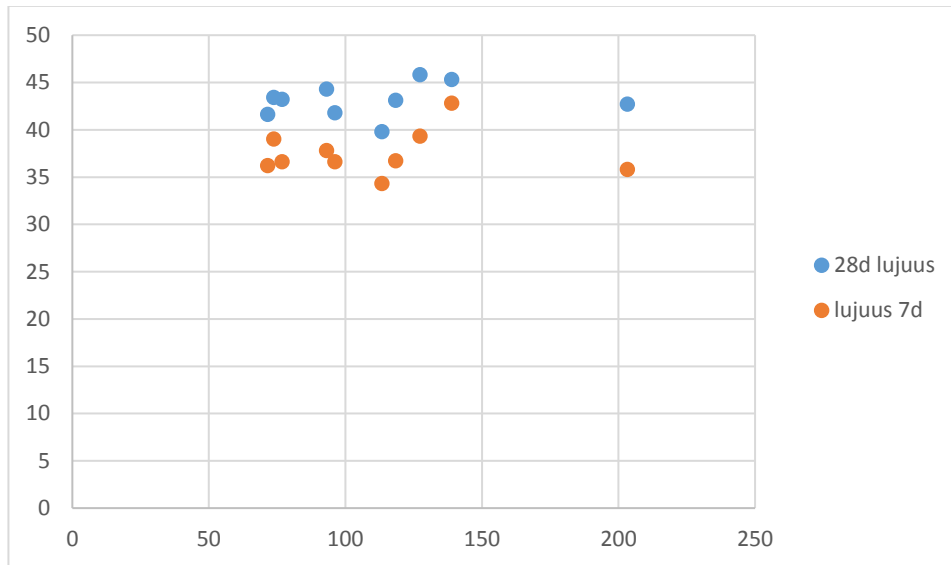
Vesi-sementtisuhde oli tasainen ja suhde oli pääasiassa 0,48–0,5. Yhden kappaleen vesi-sementtisuhde ylittyi ollen 0,51. Kappaleiden vesi-sementtisuhdet eivät vaikuttaneet betonin lujuuskehitykseen, sillä ne eivät korreloi saatujen lujuustuloksien kanssa. Vesi-sementtisuhteella 0,49 saatiin sekä heikoin 39,8 MPa että vahvin 45,8 MPa puristuslujuustulos. Tulokset ovat nähtävillä kuviosta 1.



Kuvio 1. Vesi-sementtisuhteen vaikutus betonin lujuuteen 18 mm maksimiraekoko.

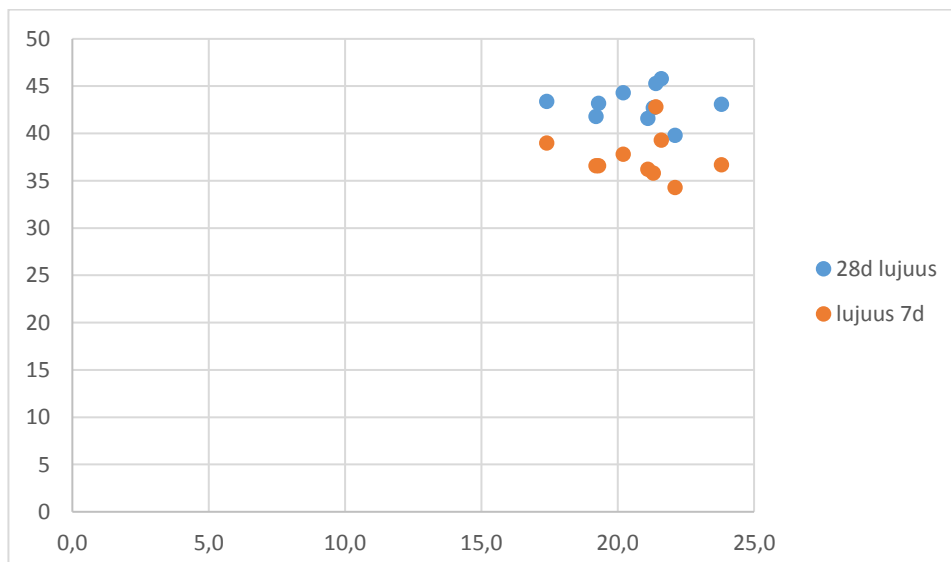
Massan sekoitusajat vaihtelivat pääasiassa 70 ja 120 sekunnin välillä. Viimeisen massan sekoitus aika nousi kuitenkin yli 200 sekuntiin. Sekoitusaajalla näyttäisi saatujen tulosten perusteella olevan pientä vaikutusta lujuuskehitykseen, sillä tämän massan osalta lujuudet olivat korkeammalla, kun sitä oli sekoitettu enemmän. Toisaalta tulokset

eivät vaihtelee niin paljoa sekoitusajan vaihteluun verrattuna, että tätäkään päätelmää voitaisiin todeta varmaksi. Tulokset ovat nähtävillä kuviosta 2.



Kuvio 2. Sekoitusajan vaikutus betonin lujuuteen 18 mm maksimiraekoko.

Betonimassan lämpötila myllyssä mitattuna oli +17- +24 °C. Koska betonin oma lämmönkehitys on suurta ja valut olivat massiivivaluja, pyrittiin massan lämpötila saamaan mahdollisimman matalaksi, jotta ongelmia betonin oman lämmönkehityksen kanssa ei tulisi. Massan lämpötila on mitattu betonimyllyssä olevan lämpötila-anturin avulla. Korkein lujuus saatiin massan lämpötilan ollessa 21,6 °C, mutta puolestaan kaksi lähes saman lämpöisestä massasta otettua kappaletta eivät nostaneet lujuuttaan niin paljoa. Täten voidaan todeta, ettei massan lämpötilankaan osalta saada selitystä kappaleiden lujuuskehitykselle. Tulokset ovat nähtävillä kuviosta 3.



Kuvio 3. Lämpötilan vaikutus betonin lujuuteen 18 mm maksimiraekoko.

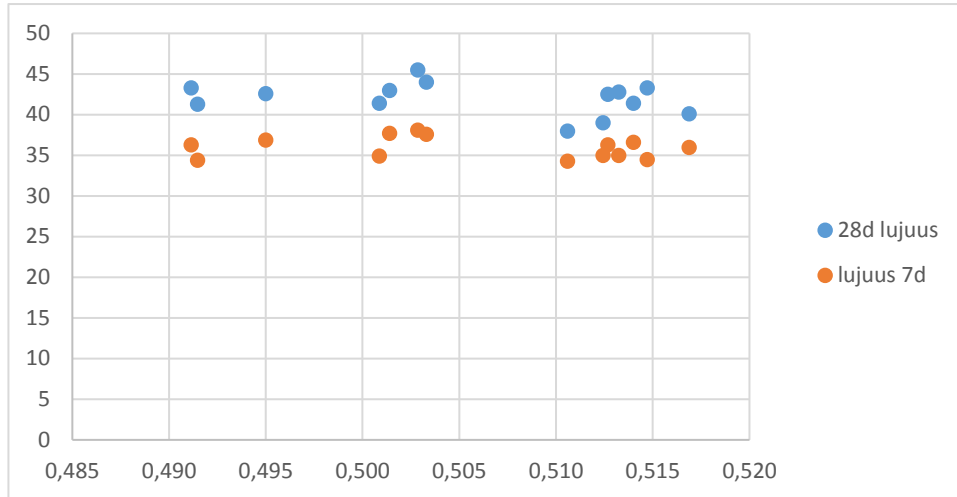
Massaan tehtiin sementtisuhteiden muutos 12.9.2017, jolloin 52,5 N sementin osuutta nostettiin ja 42,5 N sementin osuutta laskettiin. Tällä muutoksella tehdystä massasta ehdittiin ottaa kolme koekuutiota. Tulosten perusteella 52,5 N sementin osuuden kasvatus nosti betonin lujuutta, kuten kuuluikin.

6.2 Maksimiraekoon 32 mm betonin tulosten tarkastelu

Koekappaleita otettiin 28 kappaletta. Seitsemän vuorokauden iässä kappaleiden lujuuden keskiarvo oli 36 MPa ja tulosten keskihajonta 1,3 MPa. Kappaleiden lujuudet olivat 34,3-38,1 MPa. Kappaleista vain kolme ylitti nimellislujuuden seitsemän vuorokauden ikäisenä, mutta kahdeksan kappaletta saavutti vähintään lujuuden 36 MPa.

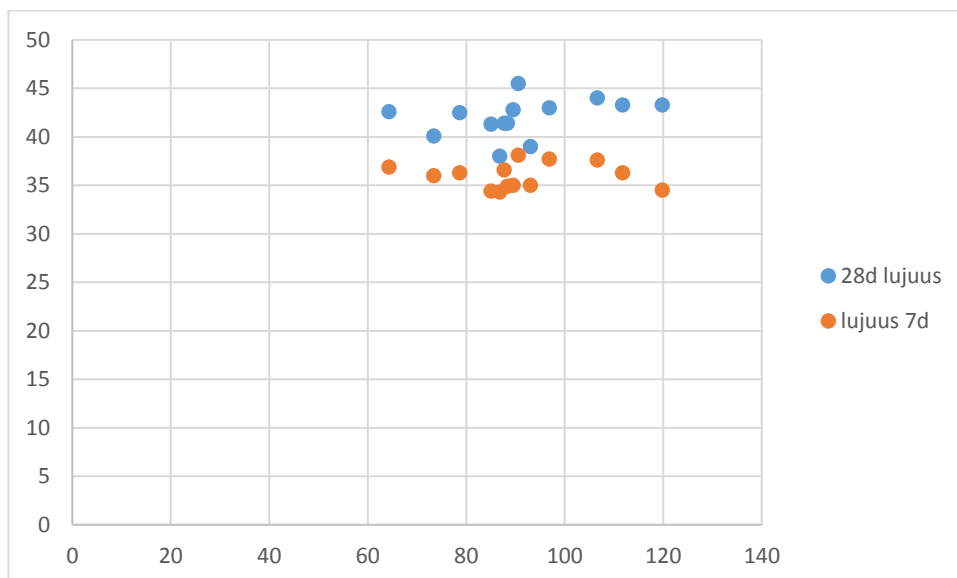
28 vuorokauden iässä kahdeksan kappaletta ylitti tavoitelujuuden 42 MPa. Kappaleiden lujuuskehityksen vaihtelu oli suurta, sillä se oli 3,7-8,8 MPa. Neljän kappaleen osalta lujuuskehitys seitsemän ja 28 vuorokauden välillä jäi alle 5 MPa:in. Lujuusvaihtelun keskiarvo oli 6 MPa ja keskihajonta 1,5 MPa. Kahdeksalla kappaleella se kuitenkin oli yli 6 MPa.

Vesi-sementtisuhte oli 0,49-0,52. Suhteen vaihtelulla ei ollut merkitystä saatujen lujuuksien kanssa, sillä lujuudet vaihtelivat jälleen vesi-sementtisuhteesta riippumatta. Esimerkiksi kappale 754 saavutti lujuuden 43,3 MPa vesi-sementtisuhteen ollessa 0,51 ja kappale 832 saavutti täsmälleen saman lujuuden, mutta sen vesi-sementtisuhte oli vain 0,49. Lisäksi hämmäntävää on, että kappaleessa 832 on enemmän 52,5 N sementtiä kuin kappaleessa 754, koska massan sementtisuhdetta muutettiin kasvattamalla 52,5 N sementin osuutta ja laskemalla 42,5 N sementin osuutta. Teoriassa kappaleen 832 lujuuden olisi pitänyt olla suurempi kuin kappaleen 754. Tulokset ovat nähtävillä kuviosta 4.



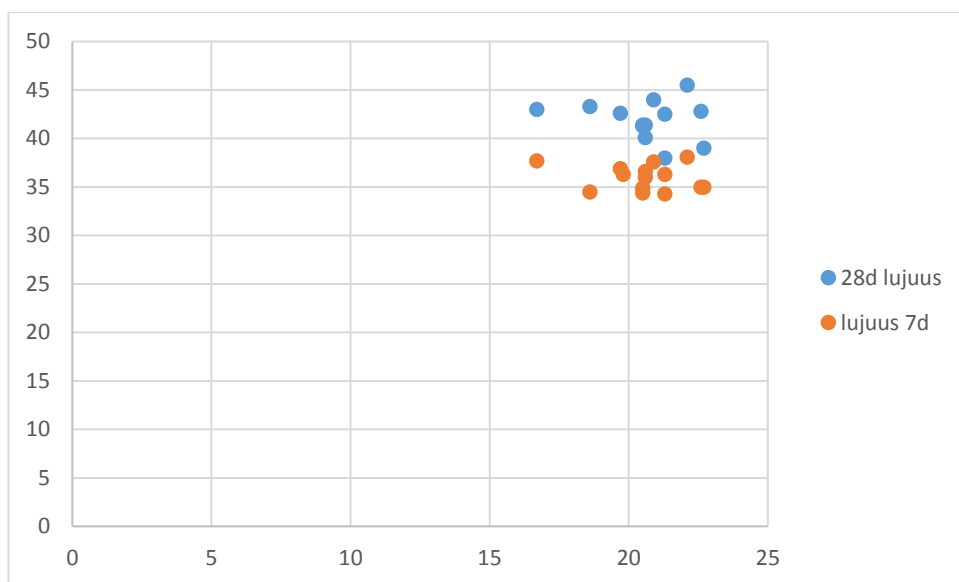
Kuvio 4. Vesi-sementtisuhteen vaikutus betonin lujuuteen 32 mm maksimiraekoko.

Sekoitusajan suhteen voitiin todeta, ettei sillä ole isoa merkitystä. Paras lujuustulos saatiin, kun betonia sekoitettiin 90 sekuntia, mutta tulokset olivat tasaisia. Betonimassojen sekoitusajat olivat 65-120 sekunnin. Kappaleen 824 65 sekunnin sekoitusaikakin näytti tulosten valossa riittävältä betonille, sillä vaikka kappaleen 832 massaa sekoitettiin 112 sekuntia, kappale 832 antoi seitsemän vuorokauden iässä 0,6 MPa pienemmän tuloksen ja 28 vuorokauden iässä 0,7 MPa paremman tuloksen. Hämmäntävää tosin oli, että pienemmän alkulujuuden antanut kappale antoi suuremman loppulujuuden kuin sitä isomman alkulujuuden antanut kappale. Näiden kahden kappaleen vesi-sementtisuhteella oli eroa vain 0,004 ja lämpötilalla 0,1 °C, joten kappaleet olivat hyvin vertailukelpoisia keskenään. Tästä voitaisiin päätellä, että sekoitusajalla olisi pientä vaikutusta. Tulokset ovat nähtävillä kuviosta 5.



Kuvio 5. Sekoitusajan vaikutus betonin lujuuteen 32 mm maksimiraekoko.

Massojen lämpötilat olivat 16-22,7 °C. Yli 20 °C lämpötilan massoilla saatiin sekä parhaimmat että heikoimmat lujuustulokset. Myöskään lujuuskehitys seitsemän ja 28 vuorokauden välillä ei näyttänyt olevan verrattavissa massojen lämpötiloihin. Korkeampi lämpötila ei siis nopeuttanut betonin lujuuskehitystä, sillä esimerkiksi kappaleiden 811 ja 818, joilla oli painoeroa 10 g, lämpötilaero 0,5 °C, vesisementtisuhteen ero 0,0024 ja sekoitusajan ero 18 sekuntia, lujuusero oli 2,7 MPa seitsemän vuorokauden iässä ja 28 vuorokauden iässä 2,6 MPa. Näin pienillä eroavaisuuksilla betonikappaleille on tullut kuitenkin melko suuri lujuusero. Tulokset ovat nähtävillä kuviosta 6.



Kuvio 6. Lämpötilan vaikutus betonin lujuuteen 32 mm maksimiraekoko.

6.3 Saatujen tulosten vertailu normaalin vesitiiviin betonin tuloksiin

Normaali vesitiivis C30/37 betoni 18 mm maksimiraekooalla antoi seitsemän vuorokauden iässä lujuudeksi 38,9 MPa (paino 8035 g) ja 28 vuorokauden iässä 46,7 MPa (paino 8005 g). Lujuuskehitys oli tällöin 7,8 MPa seitsemän ja 28 vuorokauden välillä.

Betocreteä sisältävällä C30/37 18 mm maksimiraekoon betonilla seitsemän vuorokauden iässä lujuus oli 34,3-42,8 MPa, keskiarvo oli 37,5 MPa ja keskihajonta 2,4 MPa. Kappaleiden painot olivat 7909-8042 g, keskiarvon ollessa 7951 g. 28 vuorokauden iässä puristettujen kappaleiden lujuudet olivat 39,8-45,8 MPa, keskiarvon ollessa 43,1 MPa ja keskihajonnan 1,8 MPa. Kappaleiden painot olivat 7909-8045 g, keskiarvon ol-

lessa 7953 g. Lujuuskehityksen keskiarvo seitsemän ja 28 vuorokauden ikäisen kappaleen välillä oli 5,6 MPa ja keskihajonta 1,3. Yhdellä massaerällä lujuuskehitys oli vain 2,5 MPa ja viidellä massaerällä lujuuskehitys oli 6,4-6,9 MPa.

Betocreteä sisältävällä C30/37 32 mm maksimiraekoon betonilla seitsemän vuorokauden iässä lujuus oli 34,3-38,1 MPa, sen keskiarvo oli 36 MPa ja keskihajonta 1,3 MPa. Kappaleiden painot olivat 7892-8120 g, keskiarvon ollessa 8016 g. 28 vuorokauden iässä lujuudet olivat 38-45,5 MPa välillä, keskiarvo oli 42 MPa ja keskihajonta 2 MPa. Kappaleiden painot vaihtelivat 7920 - 8195 g välillä, ja painojen keskiarvo oli 8051 g. Lujuuskehityksen keskiarvo seitsemän ja 28 vuorokauden ikäisen kappaleen välillä oli 6 MPa ja vain kolmella kappaleella ≥ 7 MPa.

Huomioiden, että normaalin vesitiiviin betonin lujuuskehitys oli parempi kuin kummankaan Betocreteä sisältävän betonin, ja että normaalin vesitiiviin betonin sementtisuhde on erilainen kuin Betocreteä sisältävän betonin, voidaan päätellä Betocreten käytön laskevan betonin lujuutta ja / tai hidastavan lujuuden kehitystä. Normaali vesitiivisbetoni sisältää 40 % 52,5 N sementtiä ja 60 % 42,5 N sementtiä, jolloin voitiin olettaa sen nostavan vähemmän lujuutta kuin Betocreteä sisältävän betonin, jossa tutkimuksen loppuvaiheessa suurin osa sementistä oli 52,5 N sementtiä (63 %) alussa sementtisuhteiden ollessa puolet ja puolet.

6.4 Saatujen tulosten vertailu aikaisempiin tutkimustuloksiin

Semtun huhtikuussa 2017 tekemässä tutkimuksessa oltiin huomattu Betocreten laskevan betonin alkulujuutta noin 10 % ja loppulujuutta noin 14 %. Lisäksi Betocreten käyttö oli lisännyt massan ilmamäärää noin 1 %.

Tässä tutkimuksessa saatujen tulosten mukaan Betocrete laski ja / tai hidasti betonin lujuuden kehitystä 28 vuorokauden iässä 18 mm maksimiraekoon massalla vähintään 8 % ja 32 mm maksimiraekoon massalla 10 %. Seitsemän vuorokauden iässä Betocreten käyttö laski ja / tai hidasti 18 mm maksimiraekoon massalla vähintään 3,5 % ja 32 mm maksimiraekoon massalla 7,5 %. Prosenttiosuudet laskettiin saatujen tulosten keskiarvon perusteella. Saadut tulokset tukivat Semtun aikaisemmasta tutkimuksesta saamaa tulosta. Betonimassasta mitattiin ilmamäärä, mutta ilmamäärä ei lisääntynyt.

6.5 Virhetarkastelu

Tuloksien hajanaisuuden pohjalta voitiin todeta, että koekappaleita olisi pitänyt ottaa ainakin kaksinkertainen ellei peräti viisinkertainen määrä. Tällöin ääripäätulokset olisi voitu karsia tutkimuksesta pois. Tällöin tutkimusmateriaalia olisi kertynyt riittävästi, eivätkä tulokset olisi olleet niin ristiriidassa keskenään ja näin oltaisiin saatu suurempi ja luultavasti yhtenäisempi otos. Näin toteutettu tutkimus olisi ollut huomattavasti laadukkaampi ja tulokset helpommin tulkittavissa. Saatujen tulosten pohjalta oli hankalaa tehdä päätelmiä, mutta pienenisiä johtopäätöksiä voitiin tehdä, kun verrattiin Betocreteä sisältäviä massoja normaalin vesitiiviin betonin tuloksiin. Tulosten hajontaan mahdollisesti vaikuttivat betonikoekappaleiden tärytyksen laatu ja betonimassaerien notkeuden vaihtelut, mikä voitiin päätellä koekuutioiden painoista.

Tutkimusmenetelmät muotoutuivat koko tutkimuksen ajan ja siksi tutkimuksesta jäi pois betonin pidempi aikainen lujuuskehitys. Vasta tutkimuksen keskivaiheilla keksittiin, että Betocreteä sisältävän massan lujuuskehitystä voisi tutkia pidemmälläkin aikavälillä kuin 28 vuorokauden iässä, jolloin saataisiin varmuus hidastaako Betocrete betonin lujuuskehitystä. Tämä idea saatiin vasta, kun alettiin nähdä aikaisempien koekappaleiden antamia tuloksia riittävässä määrin. Elo- ja syyskuussa otettiin 91 vuorokauden koekuutiot, joiden tuloksia joudutaan odottamaan vielä marras- ja joulukuuhun. Koska tutkimusmenetelmät ja -ideat kehittyivät vielä tutkimuksen aikana, jäi tutkimuksessa huomioitta tiettyjä asioita mm. sekoitusaikojen suhteen. Sekoitusajat vaihtelivat tutkimuksen osalta liikaa, jolloin niihin ei täysin voitu luottaa. Myös massojen lämpötilat olisi pitänyt saada vakioitua. Tämä olisi kuitenkin ollut helpommin sanottu kuin tehty, sillä runkoaineiden ja sementin lämpötila vaihtelivat paljon sään mukaan. Kesällä kaikki massat tehtiin kylmään veteen, mutta runkoaineiden ja sementin lämpötila nostivat betonimassan lämpötilaa. Myös Betocreten mahdolliset koostumusvaihtelut herättivät epäilyksiä.

Vertailu normaaliin vesitiiviiseen betoniin ei antanut niin tarkkaa lopputulosta Betocreten vaikutuksesta lujuuskehitykseen, kuin mitä oltaisiin saatu vertailemalla täsmälleen samanlaisia massoja Betocretellä ja ilman Betocreteä. Vertailu vesitiiviiseen massaan kuitenkin antoi jo tietynlaisia suuntaviivoja, joka teki tutkimuksesta luotettavan.

7 Lopuksi

Tutkimuksen osalta voidaan todeta, että Betocrete C36 aiheuttaa joko lujuuden menetystä ja / tai hidastaa betonin lujuuskehitystä. Alustavia tuloksia mahdollisesta lujuuskehityksen hidastumisesta saadaan marras- ja joulukuussa 2017, mutta ne eivät enää tähän opinnäytetyöhön ehdi. Tästä viisastuneena voitaneen todeta, että tällaisen tutkimusprojektin suunnittelussa ja toteutuksessa tarvitaan enemmän ammattikokemusta ja ohjausta, mikä jäi tällä kertaa hieman puutteelliseksi. Toisaalta tällaista opinnäytetyötä ei ole hetkeen tehty ja tekijän osaaminen suunnittelutyössä oli hieman puutteellista. Tutkimusta tehdessä syntyi uusia oivalluksia, jotka olisi pitänyt oivaltaa ennakkoon, jotta opinnäytetyöstä olisi tullut tutkinnallisesti parempi. Seuraavasta opinnäytetyöstä saisi paremman.

Yllätyksenä tuli tulosten vaihtelevuus, ja kiire työtä tehdessä. Kuitenkin työ onnistui yllättävän hyvin, vaikka se tehtiin töiden ohessa, kiireisimmän betonivalusesongin aikana. Mikäli toriparkki olisi ollut ainuita rakennuskohteita, olisi työ saatu tehtyä nopeammin ja mahdollisesti laadukkaammin tuloksin, koska resursseja olisi ollut enemmän käytettävissä. Esimerkiksi tällöin puristuslujuuskoekappaleita olisi voitu ottaa valukerroittain enemmän, mikä olisi lisännyt otosten määrää. Lisäksi äärimmäisen suurta hankaluutta aiheutti Betocreten käsittely ja annostelu, koska se piti annostella käsin myllyyn ja osa aineesta piti punnita ja säkittää uudelleen. Käytännössä tämä tarkoitti, että tämän työn teon aikana myllyyn annosteltiin käsin noin 10000 kg Betocreteä sekä uudelleen säkitettiin noin 2500 kg Betocreteä.

Betonin lisäaineena Betocrete C36 jäi melko vähäiselle käytölle Suomessa, sillä sen valmistus lopetettiin huonon käsiteltävyyden vuoksi, ja nyt ollaan siirtymässä nestemäiseen vastaavaan tuotteeseen. Tämä helpottaa huomattavasti kyseisen aineen käsittelyä ja annostelua. Uusi tutkimuskohde voisi olla nestemäisen Betocreten vaikutusten tutkiminen. Betonin lisäaineiden osalta on hyvin tärkeää tutkia käytettävät aineet huolellisesti ja perusteellisesti ennen niiden käyttöönottoa, jotta vaikutuksista ollaan tietoisia. Tämä kuitenkin on sikäli vaikeaa, että betonin kestävyysmuutokset näkyvät yleensä vasta vuosien päästä. Lisäksi betonissa on niin paljon muuttuvia tekijöitä sementin ja runkoaineiden laadusta ja annostelusta lisäaineisiin, että tutkimuksissa pitää ottaa huomioon paljon asioita ja tarkastella jokaista asiaa omasta näkökulmastaan. Tämä vaikeuttaa tutkimuksia paljon, minkä vuoksi ei varsinaisesti yllätä, että huokostetun betonin kanssa on lujuusongelmia.

Lähteet

- Kivimäki, C., Koskenvesa, A., Lahtinen, M., Lindberg, R., Palolahti, T., Sahlstedt, S.. 2013. Talvibetonointi. Sastamala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Raivio, P., Virola, H. 2000. Portlandsementin hydrataatio. Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) Viitattu 20.11.2017 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2041.pdf>
- Semtu Oy. 2015a. Betocrete C36. Esite. 21.8.2016
- Semtu Oy. 2015b. Betocrete C36. Käyttöturvallisuustiedote. 26.5.2015
- Semtu Oy. 2016. Semtu -uutiset. Verkkolehti. Viitattu 27.8.2017.
https://www.semtu.com/files/2714/6365/0485/Semtu-uutiset_216_w.pdf
- Semtu Oy. 2017. Betocrete C36. Ennakkotestausraportti. 18.4.2017.
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004 BY 201. Vantaa: Multiprint Oy
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2011. Betoninormit 2012 BY50. Lahti: Esaprint Oy.
- Suomen Betoniyhdistys ry. 2016. Betoninormit 2016 BY65. Vaasa: Oy Fram Ab